

論文

風景映像の昼夜連続撮影のための露出補正制御

Exposure Value Control Photography for Continuous Scenery Images from Day through Night.

小澤 友彦¹、矢動丸 泰¹、布施 哲治²、吉住 千亜紀³、尾久土 正己³

Tomohiko Ozawa, Yasushi Yadoumaru, Tetsuharu Fuse, Chiaki Yoshizumi and Masami Okyudo

1 紀美野町みさと天文台／和歌山大学生涯学習教育研究センター、

2 国立天文台ハワイ観測所、 3 和歌山大学観光学部

キーワード：デジタルカメラ、微速度撮影、風景、星空

Key Words : digital camera, time-lapse photography, scenery, starry sky

Abstract :

We established the photographic technique to capture scenery images continuously from day to night. In this paper, we described the technical skills and showed the obtained scenery photos.

In our photography, we adopted an elevation angle of the sun as a brightness indicator. Using the sun elevation, both sunny landscape and starry night could be taken with the same technique and equipment. Moreover, even with severe changes in brightness, we could smoothly obtain continuous photos that have high realistic sensation.

Our established photographic method is based on a quantitative indicator. Therefore, anybody could utilize this technique and could obtain continuous scenery images easily.

1. 序章

観光において、人工物も含め風景は、多々ある資源の中でも最も重要なものといえる。風景を眺め、またその場所に身を置きたいと思うことが、観光の始まりであり基本といえる。風景を写した写真やビデオは、その土地がどのような場所であるかを多くの人に連想させ、また新たに示す効果的な手段である。

観光地における観光の姿は、近年、より広範なものへと変化している。水族館のバックヤードツアーのような、通常では見ることができない場所や作業の見学を目的としたり、また動物園のナイトツアーのような、動物の夜間の生態を見学するなど、場所も時間帯も非常に幅広く展開されている。このように観光の対象も、ただ新たな場所を開発するばかりでなく、その視点を変えて示し提供することに、新しい可能性が見出せるものである。

和歌山は、自然環境が豊かである。同時に大阪を中心とした関西圏に対し、多くの人が気軽に自然を親しむ場所として、便利で効果的な位置づけとなっている。和歌山の自然といえば、高野・熊野を中心とする深き山々や、白浜や串本などマリンスポーツに賑う海が代表される。それに加えて和歌山には美しい空がある。和歌山は、南北に長い地理環境か

ら大阪から適度な距離が保て、同時に紀伊山地の深い山並みにより手つかずの自然が残っている。結果、排気ガスが少なく澄んだ空気があり、またネオンや街灯などの街明かりが少ないことから、昼間の抜けるような青空や天の川を湛える夜空の星など、本来の自然の姿を残し、感じられる環境が十分広がっている。

空を観光の資源と位置づけ、その宣伝を目的として、より自然に近い姿のまま映像とすることを我々は行ってきた。まず夜間の星空を美しく写す為の撮影方法の確立を行った。高感度カメラを用いて微速度撮影し、星の動き、流れる雲、行交う飛行機の光跡を写した^{3,4,5)}。次にこの手法をより一般化するために、安価なカメラによる撮影方法の確立を試みた。結果、一般家庭向けに市販されるデジタルカメラを用いて、天の川や夜の風景などを動画として写す方法を確立した⁶⁾。

しかし、昼夜の明るさの変化は非常に大きく、夜間の撮影方法を用いれば、昼間の映像は白飛び（Over Exposure）し、対象物をありのままの姿にて写すことは困難となる。逆に昼間の撮影方法を用いれば、星や夜間の風景は露出不足から黒つぶれ（Under Exposure）となり、これも対象物を写すことを不可能とする原因になる。この非常に広い露出をカバーし、また同時に、朝夕の薄明時など、激変する明るさに追随

した露出方法の確立は、自然の変化をシームレスに写し出す為には欠かすことのできない技法である。

まもなく、観光学部にデジタルドームシアターが設置される(2009年3月予定)。ここで得た風景映像がこのデジタルドームシアターに映し出されることは、非常に有意義なことを考える。

そこで我々は、昼夜を連続した映像として捉える為の撮影方法の確立を行った。本件では、その手法について報告すると共に、得られた映像についても併せて紹介する。

2. 方法

2.1. 概要

自然の風景の移り変わりを動画として撮影する方法に、微速度撮影法を用いる。微速度撮影法は、一般的な時間の進行を短く表現し、長い時間を短く示すものである。実際には、1日の風景の変化が数分で表現されるような映像であり、自然の風景にあるような長時間に渡っての変化を容易に把握できる適当な方法といえる。

撮影にはデジタルカメラを使用する。近年のデジタルカメラは、保存用媒体の大容量化に伴い、多数枚の撮影画像を一度に保存することができる。これにより長期間に渡り一定間隔で撮影される多数枚の画像全てを保存することが可能となる。またデジタルカメラの一部には、USBケーブルなどを用いてパーソナルコンピュータ(以後PCと呼ぶ)と接続でき、撮影された画像をPCのハードディスクドライブ(以後HDDと呼ぶ)に移すことができるものがある。結果、大量の画像を保存でき、更なる撮影の長期化が実現される。加えてデジタルカメラには、PCから露出開始や露出量の制御ができるものがあり、高度な撮影方法が実現可能となっている。

以上から、デジタルカメラをPCと接続することで高度な露出制御を行うと共に、画像をPCへ移し長期間にわたり高精細な撮影画像を取得することが実現できる。

2.2. 自動露出機能

デジタルカメラを代表とするスチルカメラには、電子的に測光を行い、対象の明るさにあわせて露出をかける機能がある。一般的にオートやプログラムと呼ばれる自動露出の機能は、明るさの変化に追従して最適な露出を得る方法として最も優れ、また簡単な方法といえる。陽射しの眩しい青空やどんよりとした曇り空、また日陰など、雲の量や動き、陰の出来具合などによる明るさの変化は激しく、適切な露出で撮影するには、カメラが持つ自動露出機能が有効な手段といえる。

しかし現在のスチルカメラの感度では、夜空の星を捉えるには不十分であり、長秒露出(およそ1秒以上の露出時間となるような長時間露出)を用いなければ、感度の不足を補い、ありのままの星空を美しい姿で捉えることは不可能である。長秒露出においては、手ぶれによる映像のブレが懸念さ

れる。結果、自動露出の機能には長秒露出の選択肢が含まれない事が一般的である。

以上から、自動露出の機能だけを用いて、昼の青空から夜の星空までを自動的且つ連続的に撮影することは困難である。

2.3. 太陽高度

自然の風景を写す際に、太陽光は最も影響の大きな光源である。太陽の次に明るい光源として満月と比較すれば、その違いは13等級の差となり、明るさにしておよそ16万倍違うことになる。この太陽が沈んでいる夜間、風景を照らす光源はおおよそ無く、月や星、また人工光を光源にする他は無い。しかし、これらの光源は太陽光に比べ非常に暗く、照らされる風景の明るさが極端に異なることは明白である。

以上から風景を撮影する場合、影響の最も大きな太陽の状態を元に風景の明るさを想定することが、最も直接的であると考えた。太陽高度が高いほど日射は強くなり、地上は明るく照らされる。よって、太陽が照らす明るさに大きな影響を及ぼす太陽の地上高度、即ち地平線-カメラ-太陽のなす角を元に明るさを推定する。また、日没前、日没後のような薄明時においても、地平線(または水平線)より下向きの太陽高度(太陽高度の値が負となる)と明るさの関係を求め、激変する空や風景の明るさに対する露出を推定し撮影に使用する。

2.4. EV値

撮影対象の明るさに応じた適正な露出には、カメラレンズや受光素子の感度、露出時間などが関係する。カメラレンズの明るさ(F値)、受光素子の感度(ISO)、露出時間(秒)と撮影対象の明るさを指標化したEV値(Exposure Value)との関係は、以下のように示すことができる¹²⁾。

$$EV = \log_2 F^2 - \log_2 T - \log_2 (ISO/100) \dots\dots \text{式(1)}$$

F : レンズの明るさ (F 値)

T : 露出時間 (秒)

ISO : 受光素子の感度 (ISO)

実際の撮影対象とEV値は、大まかに表2-4-1のように示される¹²⁾。事前の試験撮影から、天の川を写すための適当な露出は、F値/3.5、露出時間/20秒、ISO/6400が決定し、式(1)よりEV値/-6.71と求められた。

2.5. 機材

今回の撮影に用いたデジタルカメラならびにレンズ、三脚およびカメラ制御に用いたPCを、表2-5-1に示す。

他、夜間撮影中においては夜露が発生し、レンズ面が曇ることや凍ることがあるため、電気ヒーターをレンズ外周に巻

表 2-4-1 実際の撮影対象とEV値の大まかな関係

E V 値	対 象
EV16	快晴（海／山／雪）
EV15	快晴
EV14	晴
EV13	明るい曇
EV12	薄曇／日陰
EV11	曇
EV 8	明るい室内
EV 6	暗い室内

表 2-5-1 撮影に用いたデジタルカメラならびにレンズ、三脚およびカメラ制御に用いたPC

カメラ	レ ン ズ
Nikon D3	SIGMA 8mm F3.5 EX DC Circular Fisheye
Nikon D300	SIGMA 4.5mm F2.8 EX DC Circular Fisheye HSM
Nikon D40	SIGMA 8mm F3.5 EX DC Circular Fisheye
三 脚	
Velbon Neo Carmagne 740 + Velbon PH-275(雲台)	
P C	
Panasonic Let's Note CF-W7	
EPSON DIRECT Endeavor 2700NT	
DELL XPS M1210	

き、加温し防いでいる。

これらの機材は、昼夜連続し長時間にわたって使用する。そのため電源は機器内蔵のバッテリーを用いるのではなく、家庭用電源や、自動車のバッテリーにインバーター（直流交流化電源）を用いて供給する。

他、運搬時における衝撃によりHDDが破損することに考慮し、得られた画像などは外付けHDDへ複製し保存する。

2.6. ソフトウェア

カメラの露出開始やF値、ISO、露出時間などは、USBケーブルで接続されたPCから制御する。我々は、この技術を既に獲得している^{7, 8)}。以下に概要を述べる。

オペレーティングシステム（以後OSと呼ぶ）には、VineLinux Ver4.2を使用した。カメラ制御の為のソフトウェアにはgphoto 2を、得られた画像の解析にはdcrawと呼ばれるフリーウェアをそれぞれ使用した。観測地における太陽高度の計算にはC言語で自作したプログラムを使用した。太陽高度から最適なEV値を求めるプログラムもC言語で自作したものを使用した^{2, 13, 14)}。

シェルスクリプトは、実行形式のプログラムを連携させる環境として優れており、特に変更の簡便さから今回採用した。先に示した各機能を統合し、繰り返し露出などの操作を行い、また画像ファイルの移動や複製などの作業に用いた。今回使用したシェルはcsh(およびtcsh)である¹⁵⁾。

ただし、本研究の初期においては、上記システムの安定

動作が確保されないことから、OSにはMicrosoft Windows XPを使用し、カメラ制御にはNikon Camera Control Proを使用した。この場合、太陽高度にあわせた露出制御は行わず、撮影開始から終了まで、常に同じ露出時間（夜間の露出に調整）で撮影したことを付け加える。

2.7. 制御の流れ

ところで、2.2. 自動露出機能に示したようにカメラ本体にある自動露出の機能は非常に優れている。日中の雲などによる明るさの変動や対象物の色による明るさの違いは、カメラ本体の自動露出機能を用いることで、より広範な環境に簡便に適応させられる。一方、夜間における雲や地上風景の明るさは、太陽のような強い光源が無いため大きく変動しない。よって昼間はカメラ本体の自動露出機能を用い、夜間は星空や暗い風景にあわせた露出を意図的に用いることとする。結果、この状態の切り替えを日没直後ならびに日出直前に行うものとする。

よって2.6. に示すソフトウェアならびにシェルスクリプトによる制御の流れは、以下の通りである。(表 2 - 7 - 1 および図 2 - 7 - 1 を参照のこと)

表 2-7-1 制御の流れ

太陽高度に対する条件	制御の内容
日中（日中から撮影開始としている）	
> - 7	カメラの自動露出機能を使用
日没・薄明	
> - 7	カメラの自動露出機能を使用
= - 7	直前に撮影した太陽高度 - 5 ~ - 6. 8 度の画像を元に太陽高度と E V 値の関係式（傾き a、Y 切片 b）を求める
	以後、カメラの露出を PC のソフトにて制御する
< - 7	上記で求めた太陽高度と E V 値の関係から、撮影時における太陽高度に応じた E V 値を求め、カメラの露出を制御する ただし E V 値が天の川や星の撮影に適した値 - 6.71 以下を示す場合は、-6.71 (F 値 / 3.5、露出時間 / 20 秒、ISO / 6400) に固定する
夜間	
< - 7	求まる E V 値が -6.71 以下となる為、-6.71 に固定して露出
薄明・日出	
< - 7	事前の調査撮影にて求めた太陽高度と E V 値の関係から、撮影時の太陽高度に応じた E V 値を求め、カメラの露出を制御する
= - 7	以後、カメラを自動露出で制御する
> - 7	カメラの自動露出機能を使用
日中	
> - 7	カメラの自動露出機能を使用

尚、明け方の太陽高度と E V 値の関係は $a = 1.8761$ 、 $b = 12.735$ で示される。

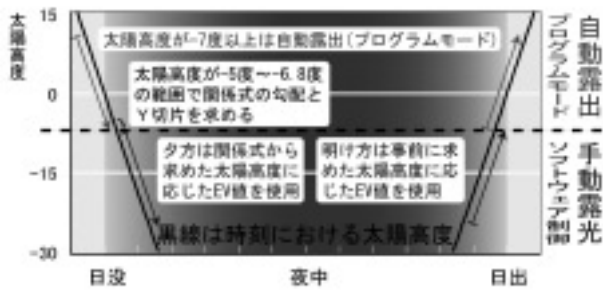


図 2-7-1 太陽高度と露出の制御

まず基本機能として、太陽高度は、現地の緯度・経度および時刻から求める。レンズのF値、ISO、露出時間は、太陽高度からEV値を求め算出する。太陽高度とEV値の関係式は、傾き a 、Y切片 b を用いると以下のように示される。

$$EV \text{ 値} = a \times \text{太陽高度} + b \quad \cdots \cdots \text{式(2)}$$

2.2. の自動露出機能に述べた通り、空が十分明るい状態ではカメラが持つ自動露出機能を使用する。そして空が暗い状態では、PCのソフトウェアにてEV値を求めて露出する。その明るさの境界は、太陽高度が -7 度の時点とした。

夕方における式(2)の係数 a および係数 b は、事前の調査撮影によって、日による変動が大きいことがわかった。対して、明け方の式(2)の係数 a 、 b は、大きく変動しない。よって、夕方では自動露出機能により直前に撮影された画像から係数 a 、 b を求め、露出を制御する。一方、明け方では事前の調査撮影によって求めておいた係数 a 、 b を用いて露出の制御を行う。

太陽高度の変化と露出の制御の流れを表 2-7-1 に、また制御の概念を図 2-7-1 に示す。

3. 撮影

撮影には、以下のような目的がある。

- 1 プログラムによるカメラの基本動作の確認
- 2 シェルスクリプトの処理手順に従い、各機能が安定に動作するかの確認
- 3 PC毎の処理能力の違いによる実行速度の確認
- 4 薄明時における太陽高度に対するEV値の変化などの調査
- 5 自動露出機能による日中の露出状況の調査
- 6 固定露出による夜間の星空を対象とした露出状況の調査
- 7 実際の撮影地における明るさの調査
- 8 実際の利用を目的とした撮影

本研究では、紀美野町みさと天文台において1～8をそれぞれ必要に応じて行い、撮影方法を確立すると共に、実

際の利用を目的とした画像の撮影を行った。また、オーストラリア・ナンバン国立公園・ピナクルズおよびアメリカ・ハワイ・マウナケア山頂（すばる望遠鏡）においても撮影を行った。これは、撮影地の違いや環境による明るさの差異の確認を目的とすると共に、日本から見える星空とは違う星空の撮影を目的としたものである。

オーストラリア・ピナクルズならびにハワイ・マウナケア山頂（すばる望遠鏡）において行われた撮影について、それぞれ撮影期間、撮影者、ソフトウェア（OS）および制御概要について、表 3-1 に示す^{1, 9, 11)}。

それぞれ撮影を行った場所の周辺環境を図 3-1～3-2 に示す。

オーストラリア・ナンバン国立公園・ピナクルズは、西オーストラリア州の国立公園であるため、夜間の撮影に際して管理当局の許可のもと行った。ピナクルズは、やぶが点在する砂



図 3-1 オーストラリア・ナンバン国立公園・ピナクルズでの撮影風景



図 3-2 アメリカ・ハワイ・マウナケア山頂での撮影風景

表 3-1 今回の撮影地、撮影期間、撮影者、ソフトウェア(OS)および制御概要

オーストラリア・ピナクルズ (東経 115 度 9 分 26 秒 南緯 30 度 36 分 8 秒) 2008 年 3 月 6～10 日 矢動丸 泰、山口 卓也 Nikon Camera Control Pro (Windows XP) による撮影、EV 値制御なし
オーストラリア・ピナクルズ (東経 115 度 9 分 26 秒 南緯 30 度 36 分 8 秒) 2008 年 9 月 26～29 日 矢動丸 泰、豊増 伸治 gphoto2 (Vine Linux 4.2) による撮影、EV 値制御なし
EV14 ハワイ・マウナケア山頂 (西経 155 度 28 分 34 秒 北緯 19 度 49 分 32 秒 (すばる望遠鏡の座標 ¹⁰⁾)) 2008 年 10 月 24～27 日 小澤 友彦、矢動丸 泰 gphoto2 (Vine Linux 4.2) による撮影、EV 値制御あり
ハワイ・マウナケア山頂 (西経 155 度 28 分 34 秒 北緯 19 度 49 分 32 秒 (すばる望遠鏡の座標 ¹⁰⁾)) 2008 年 11 月 26～28 日 矢動丸 泰、吉住 千亜紀 gphoto2 (Vine Linux 4.2) による撮影、EV 値制御あり

漠で、珪化木が林立する風景が特徴的な場所である。砂漠の真ん中という環境から家庭用電源などは無く、レンタカーのバッテリーならびにエンジンの発電によって必要な電力を得た。

アメリカ・ハワイ・マウナケア山頂は、聖地として位置づけられており、一般人がむやみに一昼夜過ごすことは避けるべき場所である。また標高が4200 mと非常に高地であることから、平均気圧0.6気圧と高山病等への十分な配慮が必要となる。我々は、安全を考慮し現地にすばる望遠鏡を持つ国立天文台ハワイ観測所の協力の下、撮影を行った。そのため、すばる望遠鏡ドームの電源を使用し、すばる望遠鏡での観測に用いる事務所（制御棟）を待機場所として使用した。

このように撮影地の使用やそれに伴い車両の進入が必要な場合、事前に地権者や関係者の許諾を取らなければならないのは、必要不可欠なことである。また映像を観光などの目的に利用する視点に立てば、それを記録し公開するなどの必要から、単に撮影許可を得るばかりでなく、協力者に対して撮影本来の目的を理解頂き、また協力頂くことは重要なことと考える。自らの目的だけでなく、関係者の理解と協力を得ることは、その土地をよく知り伝える基本になる。加えて、この十分な理解と協力は、撮影地を訪れる他の観光客など来訪者のプライバシー保護などの視点からも重要となる。映像の公開を目的とするならば、プライバシー保護は十分配慮しなければならない重要な要素となるからである。

4. 結果

4.1. 太陽高度とE V値の関係

複数回行われた撮影の中から2008年10月26・27日のハワイ・マウナケア山頂にて得られた太陽高度とE V値の関係を図4-1-1に示す。

図4-1-1は、横軸に太陽高度（度）を、縦軸にE V値

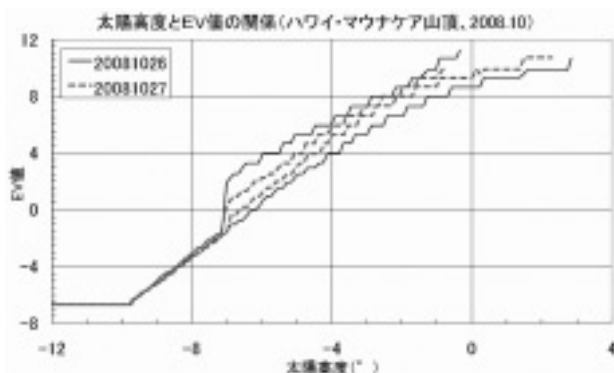


図4-1-1

2008年10月26・27日ハワイ・マウナケア山頂にて得られた太陽高度とE V値の関係

横軸が太陽高度（度）、縦軸がE V値
両日とも夕方は上方のグラフ、明け方は下方のグラフである太陽高度-7度において不連続であることから露出の制御が滑らかにおこなえていないのがわかる

を示している。一昼夜の連続した撮影から、この図の上には夕方・明け方の両方における太陽高度とE V値の関係が示されている。両日とも夕方は上方のグラフ、明け方は下方のグラフである。

この撮影では、PCのソフトにより露出が制御される場合（太陽高度<-7）の太陽高度とE V値の関係は、固定されている。この結果から-7度以上、すなわち自動露出での太陽高度とE V値の関係は、夕方では日によるばらつきが大きく、明け方では小さいことがわかる。PCのソフトによる露出制御と、カメラ本体の自動露出制御との間に隔りがあり、明るさの変化に対して太陽高度=-7度において不連続となっている。すなわち太陽高度=-7度において、グラフが滑らかにつながっていないことから、制御がうまく切り替えられていないことがわかる。

そこで、2.7. 制御の流れに示した通り、夕方では自動露出により得られた直前の画像から、式(2)の係数a, bを求める方法を採用した。加えて、明け方における式(2)の係数a, bを調整し2008年11月27・28日に撮影を行った。その結果を図4-1-2に示す。

この結果から朝夕ともに太陽高度が-7度において露出制御が滑らかに切り替えられたことがわかる。また両日とも滑らかにグラフがつながる事から、異なる日付であっても対応できたといえる。

4.2. 撮影画像

2008年11月27日にハワイ・マウナケア山頂にて撮影された夕方の連続画像を図4-2-1として示す。

画像の並びは(a)から(i)の順で、ここに示す画像の間隔は10分である。(e)から(i)にみられるような夕方の薄明時において、滑らかに明るさが変化し、周辺の様子も十分捉えていることが見て取れる。(a)から(d)のような日没前の日射のある状態でも、周辺の建物や雲が十分確認できる。また日没後(e)においても暗くなるとともに空に星が見えてくる様

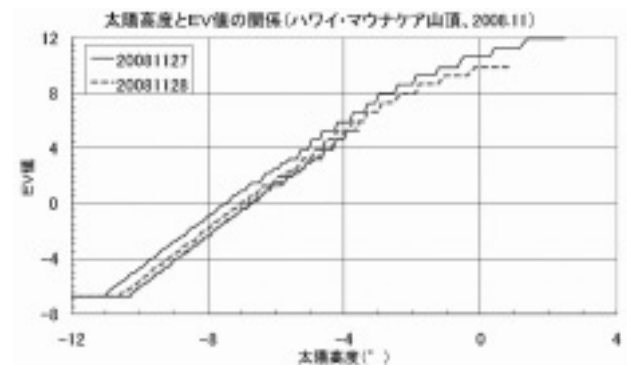


図4-1-2

2008年11月27・28日ハワイ・マウナケア山頂にて得られた太陽高度とE V値の関係

朝夕ともに太陽高度が-7度において滑らかにつながることから露出制御がうまく切り替えられたことがわかる

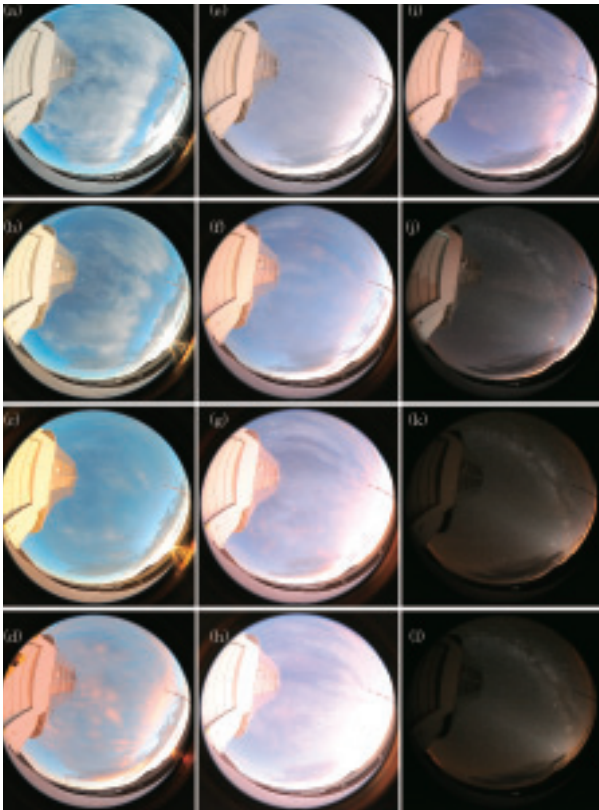


図 4-2-1
2008 年 11 月 27 日（世界時）アメリカ・ハワイ・マウナケア山頂での夕景の変化
画像の時間間隔は 10 分、左上から左下、中央上から中央下、右上から右下の順



図 4-2-2
アメリカ・ハワイ・マウナケア山頂での夕景
画面右下（南西）に夕日が見てとれる
また、すばる望遠鏡ドーム（画面左）や周辺風景が精細に確認できる

子を捉えている。これにより明るさの変化が激しい、朝夕の薄明時における露出制御が有効であったことが、画像上から

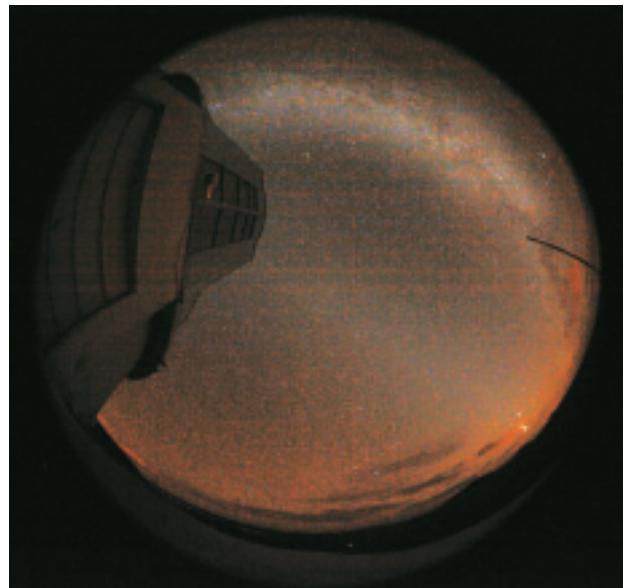


図 4-2-3
アメリカ・ハワイ・マウナケア山頂での夜空
天の川やすばる望遠鏡ドーム右側にアンドロメダ星雲（銀河）が見られる



図 4-2-4
中央にアンドロメダ星雲（銀河）、画面左下にすばる望遠鏡ドーム

も確認できた。

また日没前の画像を大きく示したものが、図 4 - 2 - 2 である。撮影地の様子を臨場感高く示す為の精細な映像が得られていることがわかる。図 4 - 2 - 3 には、同じ大きさで夜間に撮影した画像を示す。ここからは星空や雲など、通常では写真で捉えづらい夜間の風景が十分見て取れる。特に天の川が確認できるだけでなく、秋の夜空に観測されるアンドロメダ星雲（距離 230 万光年）が確認（図 4 - 2 - 4 参照）でき、肉眼で見る夜空の様子に非常に近い映像であることがわかる。

5. 議論

今回、昼夜を連続的に捉える撮影手法を確立したことで、観光における映像利用の可能性が大きく広がった。例えば没入観の高いドーム映像として投影することで、現地にいる

ような高い臨場感を与えることができる。また今回、非常に高精細な全周画像として映像を得られたことから、それを部分的に切り出し平面化する画像処理を施すことで、自分の見たい視点にあわせ、画角を自由に換え眺められるサービスを提供することができる。これは各家庭において、インターネットを用いて映像を見る場合など、ドームなどの特別な閲覧環境の無い場合に非常に有効な手法になると考える。

また我々は、同様のカメラを夜間の雲モニターとして、通年に渡り自動に撮影する仕組みを既に構築している⁷⁾。これによりカメラなどの機材に対する雨滴や高湿度、また冬季の低温化への対策法を獲得しつつある。この技術を流用することで、風景を昼夜問わず、自動に撮影し、提供する仕組みが構築できる。時間を問わずアクセスのある海外からのインターネット閲覧者に対し、今の姿を高い臨場感と共に伝えることのできるこの技術は、観光の国際化において高い宣伝効果をもたらすものとする。

6. 結論

今回の撮影は、昼夜、同じ機材を用いて行っている。これにより太陽の照る昼間の様子から、天の川の横たわる夜の風景まで、同一の機材・手段で風景を画像として捉えることができた。また日の出日の入りや薄明時のような、明るさの変化が激しい時間帯においても周辺環境の臨場感を十分に保ち、同時に途切れることなく連続的に捉えることができるようになった。

これにより風景の映像を、場所や時間、季節を越えて、連続的に捉える技術を確立したといえる。また科学的・定量的な撮影手法を用いていることから、誰にでも再現でき、利用できる撮影方法が確立されたことになる。これは観光において重要な風景画像の利用範囲を広げるだけでなく、既存の観光地におけるこれまでに無い観光の目的を発見させる可能性に繋がると考える。

謝辞

カメラ制御のためのソフトウェアの使用において、多大なる技術的協力を頂いた、国立天文台岡山天体物理観測所の黒田大介氏にまず始めに感謝します。またオーストラリア・ビナクルズでの撮影実施において、現地に赴き素晴らしい画像の取得にご尽力頂いた和歌山大学大学院教科教育専修理科教育専攻の山口卓也氏（当時）ならびに紀美野町みさと天文台主任研究員の豊増伸治氏に大変感謝します。海外での撮影にあたり、梱包作業等の準備において、ご協力を頂いた西鳥有香さんに感謝します。また山口氏の海外出張に当たっては、大学院生ということから、本研究の目的に対してご理解頂き、大学への説明、事務手続き等、多くのご協力を頂いた、和歌山大学教育学部の富田晃彦氏に感謝致します。

ハワイ・マウナケア山頂での撮影に当たっては、ハレポハクでの宿泊、すばる望遠鏡制御棟やヒロオフィスの各施設の利用、往路復路での安全確保のための情報提供など、非常に多方面に渡りご協力頂くと共に、本研究の主題となる撮影に対してご理解頂いた、国立天文台ハワイ観測所に対して厚く御礼申し上げます。ハワイ・マウ

ナケア山頂は聖地として位置づけられており、本研究の目的をご理解頂き、そのような場所での撮影に対してご許可頂いたことについて、OMKM (Office of Mauna Kea Management) ならびに Hawaii Film Office に大変感謝致します。またナンバン国立公園での撮影にあたっては、西オーストラリア州 Department of Environment and Conservation のご協力を頂き、大変感謝しております。本研究における煩雑且つ大量な事務手続きの問題解決に対し、積極的に取り組んで頂いた和歌山大学生涯学習教育研究センターの皆様には、大変助けられました。ありがとうございました。また多大なる時間を本研究の実施に割いて頂きくとともに、海外出張などにご理解頂いたことに対して、紀美野町みさと天文台の職員ならびに紀美野町教育委員会の皆様、そして紀美野町町民の皆様に対して、最後にお礼申し上げます。本当にありがとうございました。

尚、本研究は科研費（19500742）の助成を受け行われたものであることを申し加えます。

参考文献

- 1) AstroArts, ステラナビゲータ 8, 天文シミュレーションソフトウェア
- 2) 池内了、木下宙、新美幸夫、西村史朗、くもった日の天文学, 丸善 (1988 年)
- 3) 小澤友彦 他, 電子冷却カラー CCD による日周運動の動画製作, 日本天文学会 2001 年春季年会 Y11c
- 4) 小澤友彦, 星の動き (日周運動) の動画撮影, 天文教育 2001 年 3 月, Vol.13 No.2
- 5) 小澤友彦 他, 微速度撮影法による星野動画作成システムの開発, 国立天文台報 6, 67-78 (2003)
- 6) 小澤友彦 他, デジカメによる日周運動の動画製作, 日本天文学会 2002 年秋季年会 Y06b
- 7) 小澤友彦 他, 一眼レフデジタルカメラによる空モニターの構築, 日本天文学会 2008 年秋季年会 V27b
- 8) 小澤友彦 他, デジタルカメラを用いた星空の動画撮影, 日本天文学会 2008 年秋季年会 Y13b
- 9) 国立天文台編, 理科年表, 第 81 冊, 丸善 (2008 年)
- 10) すばる望遠鏡、すばる望遠鏡の仕様 (2009 年 1 月 30 日現在) (http://subarutelescope.org/Introduction/j_telescope.html)
- 11) 天文年鑑編集委員会, 天文年鑑 2008 年版, 請文堂新光社
- 12) とり撮り ::blog、EV 値より (2009 年 1 月 30 日現在) (<http://hong.plala.jp/ev.html>)
- 13) 長沢工, 日の出・日の入りの計算—天体の出没時刻の求め方, 地人書館 (2000 年)
- 14) 長谷川一郎, 天文計算入門——球面三角から軌道計算まで, 恒星社厚生閣 (1997 年)
- 15) 舟本奨, 実用 UNIX ハンドブック, ナツメ社 (1990 年)

受付日 2009 年 2 月 2 日

受理日 2009 年 3 月 12 日